

# РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДВИГАТЕЛЯ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Алткур М.<sup>1</sup>, Ларионов Ю. А.<sup>2</sup> Email: Althkur17107@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Алткур Мунтадер – студент магистратуры;

<sup>2</sup>Ларионов Юрий Анатольевич – кандидат технических наук, доцент,  
кафедра физики, электротехники и электроники,  
Северо-Кавказский федеральный университет,  
г. Ставрополь

**Аннотация:** в статье анализируются нестационарные тепловые процессы в электрических машинах, построена простая математическая модель для расчета температуры статорной обмотки в асинхронном двигателе. Представлена система контроля температуры обмотки двигателя. Экспериментально исследованы температурные процессы в двигателе при сложных режимах его работы. Отмечено, что результаты расчета по упрощенной модели теплового динамического процесса значительно отличаются от эксперимента, что подтверждает необходимость контроля температуры обмоток двигателя в реальном времени для параметрической коррекции системы векторного управления электроприводом переменного тока.

**Ключевые слова:** анализ, расчет, контроль, температура, асинхронный двигатель, коррекция, электропривод.

## IMPLEMENTATION OF THE ENGINE TEMPERATURE MONITORING SYSTEM IN THE AC DRIVE

Althkur M.<sup>1</sup>, Larionov Yu.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Althkur Muntadher - Master;

<sup>2</sup>Larionov Yuri Anatolievich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
DEPARTMENT OF PHYSICS, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTRONICS,  
NORTH-CAUCASIAN FEDERAL UNIVERSITY,  
STAVROPOL

**Abstract:** in this paper, unsteady thermal processes in electric machines are analyzed, a simple mathematical model is constructed for calculating the temperature of the stator winding in an asynchronous motor. The monitoring system of temperature of a winding of the engine is presented. The temperature processes in the engine under difficult operating conditions have been studied experimentally. It is noted that the calculation results for the simplified model of the thermal dynamic process differ significantly from the experiment, which confirms the need to monitor the temperature of the motor windings in real time for parametric correction of the vector control system of an AC electric drive.

**Keywords:** analysis, calculation, control, temperature, induction motor, correction, electric drive.

УДК 621.313.;621.317

Одной из проблем, связанных с построением бездатчикового векторного электропривода переменного тока, является чувствительность электропривода к изменению электрических параметров двигателя в процессе работы. Прежде всего, это относится к температурным изменениям активных сопротивлений статора и ротора, а также к изменению взаимной индуктивности в зависимости от тока цепи намагничивания. Решением данной проблемы в построении векторного регулятора и наблюдателя состояния асинхронного двигателя является применение регуляторов, грубых в отношении параметрических возмущений, в частности, релейных регуляторов, функционирующих в скользящих режимах [1]. Другим подходом является параметрическая адаптация, осуществляемая в реальном времени при работе привода.

Нестационарные тепловые процессы в электрических машинах имеют место при их эксплуатации. Ими сопровождаются режимы пуска, торможения, изменения нагрузки и частоты вращения машин. Большое значение процессы нестационарного нагрева имеют при перегрузках по току и напряжению, при частых и затяжных пусках двигателей, а так же при работе их в заторможенном состоянии, что характерно для электропривода подъемно-транспортных средств, работающих в условиях повышенных вибраций и ударных механических нагрузок. Особенностью нестационарных тепловых режимов, или тепловых переходных процессов, в электрических машинах является их инерционность, проявляющаяся в значительном отставании изменений температуры от электромеханических переходных процессов. Повышенная температура обмоток вызывает изменение их электрических параметров, что влечет увеличению ошибки управления в системах с моделью двигателя. Введение в алгоритм управления

дополнительного расчета температуры обмоток от режима работы требует тепловой модели для асинхронного двигателя по нагреву. Метод эквивалентных тепловых схем (ЭТС) получил наибольшее распространение ввиду простоты и достаточной точности расчета, которые используются для выбора двигателя по мощности. Данный метод основан на использовании тепловых сопротивлений [2], которые соединяются в тепловую сеть, имитирующую реальные пути передачи тепловых потоков в машине. Недостаток метода заключается в том, что он дает не полную картину температурного поля, а только некоторые средние значения температуры для отдельных элементов машины. В то же время он требует полных сведений о конструкционных параметрах реального двигателя, которые из паспортных данных на двигатель определить нельзя, и сведения о начальных значениях температуры обмоток и окружающей среды. Алгоритм управления привода с такой тепловой моделью двигателя теряет универсальность. В работе предложено контролировать температуру двигателя датчиками температуры в реальном времени. Температуру элементов двигателя без контроля рассчитывать через постоянные коэффициенты. В [2] предложена тепловая модель двигателя, состоящая из двух цилиндров (рисунок 1).

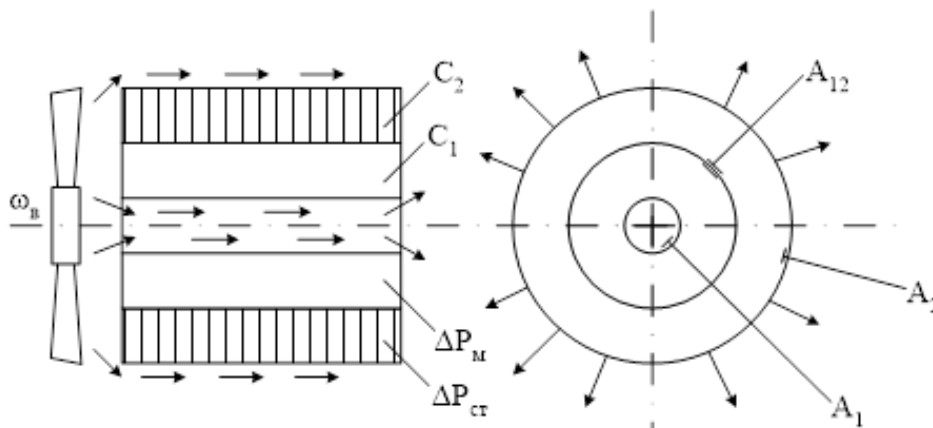


Рис. 1. Упрощенная модель двигателя как тела нагрева

Внешний цилиндр с теплоемкостью  $C_2$  моделирует массу железа машины, внутренний с теплоемкостью  $C_1$  – обмотки статора. Мощность теплового потока от стали к окружающей среде пропорциональна коэффициенту  $A_2$ . Во внутреннем цилиндре предусмотрен канал, моделирующий отвод теплоты потоками воздуха от внутренних частей машины. Мощность теплового потока от меди статора к окружающей среде пропорциональна коэффициенту  $A_1$ . Теплопередача между медью и сталью определяется коэффициентом  $A_{12}$ , моделирующим термическое сопротивление изоляции.

Данной модели соответствует система уравнений [3]:

$$\Delta P_M = A_{12} \cdot (\Delta \theta_M - \Delta \theta_{ct}) + A_1 \cdot \Delta \theta_M + C_1 \cdot \frac{d\theta_M}{dt},$$

$$\Delta P_{ct} = A_2 \cdot \Delta \theta_{ct} - A_{12} \cdot (\Delta \theta_M - \Delta \theta_{ct}) + C_2 \cdot \frac{d\theta_{ct}}{dt}.$$

$\Delta \theta_M$  и  $\Delta \theta_{ct}$  – превышения температуры меди и стали соответственно над температурой окружающего воздуха.

Для решения системы дифференциальных уравнений (1) на ЭВМ при помощи приложения Simulink, входящего в состав пакета MatLab, представили систему в операторной форме. При преобразовании учитывались начальные условия, то есть начальные температуры меди и стали.

$$A_1 \cdot \theta_M(p) - A_1 \cdot \theta_B(p) + A_{12} \cdot \theta_M(p) - A_{12} \cdot \theta_{ct}(p) + C_1 \cdot [p \cdot \theta_M(p) - \theta_M(0)] = \Delta P_M(p)$$

$$A_2 \cdot \theta_{ct}(p) - A_2 \cdot \theta_B(p) - A_{12} \cdot \theta_M(p) + A_{12} \cdot \theta_{ct}(p) + C_2 \cdot [p \cdot \theta_{ct}(p) - \theta_{ct}(0)] = \Delta P_{ct}(p),$$

где  $\theta_M(0)$  – начальная температура меди,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\theta_{ct}(0)$  – начальная температура стали,  $^{\circ}\text{C}$ ;

Результаты моделирования процесса нагрева на примере асинхронного двигателя закрытого исполнения марки Т2А80/2 представлены на рисунке 2, а) превышение температуры меди; в)

превышение температуры стали. При моделировании температура окружающего воздуха принималась равной  $10^{\circ}\text{C}$ , начальные температуры меди и стали равны температуре окружающего воздуха. Установлено, что средняя температура меди достигает установившегося значения  $83^{\circ}\text{C}$  за 2000 секунд, постоянная времени процесса 500 с.

При работе привода на низких скоростях и больших нагрузках температурный режим двигателя быстро изменяется и для качественного управления необходим контроль температуры обмоток двигателя и параметрическая адаптация системы, осуществляемая в реальном времени при работе привода. Предложено в блоке адаптации выполнять перерасчет параметров регуляторов системы управления в зависимости от изменения параметров двигателя от реальной температуры обмоток двигателя, меняющейся в процессе работы привода. Контроль температуры двигателя датчиками с аналоговыми сигналами (термопреобразователь сопротивления, термоэлектрический преобразователь) требует сложный фильтр электромагнитных помех. В работе при решении задачи исследования и построения системы контроля температуры остановились на цифровом датчике температуры DS18B20.

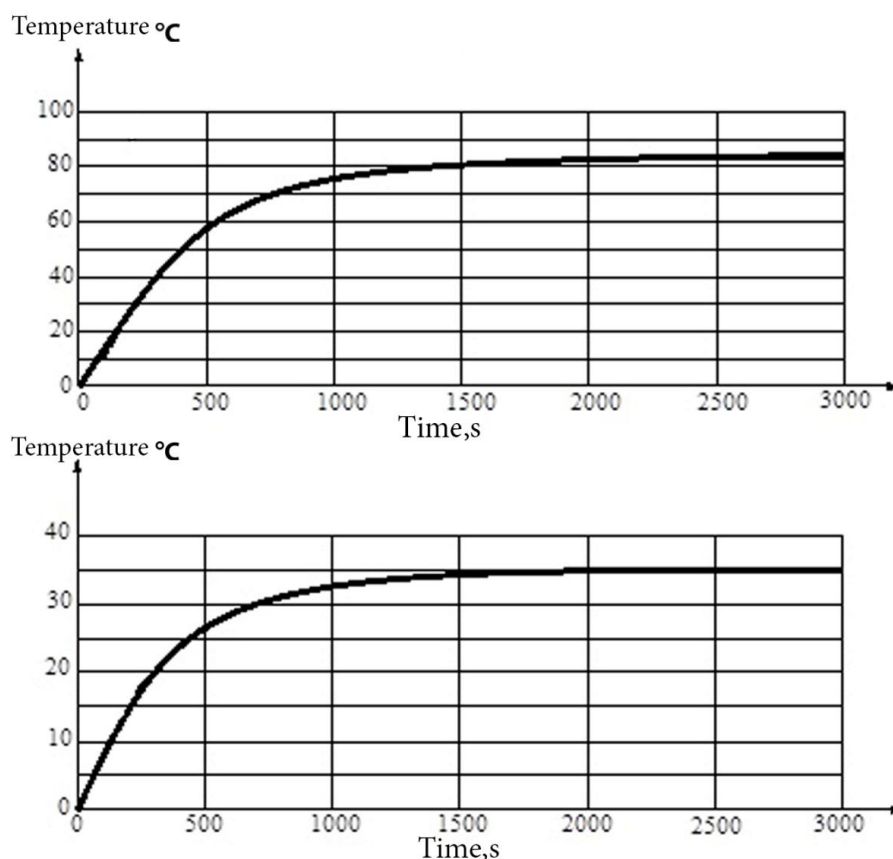


Рис. 2. Результаты моделирования процесса нагрева на примере асинхронного двигателя закрытого исполнения марки T2A80/2

Датчик температуры DS18B20 имеет цифровой интерфейс и работает с контролером Arduino по протоколу передачи данных One-Wire® и позволяет подключить несколько датчиков на одну шину. В работе использовались два датчика DS18B20, один крепился на статорной обмотке, второй на корпусе статора. Программируемый логический контроллер Arduino Uno и инструментальные средства программирования обеспечивают гибкость, необходимую для решения широкого спектра задач автоматизации, позволяют реализовать передачу данных по WiFi.

Виртуальный прибор для измерения температуры обмотки двигателя создан в среде LabVIEW.

Экспериментальные исследования температурного режима двигателя проводились на лабораторном стенде, включающем преобразователь частоты VFD-B компании Delta Electronics, асинхронный двигатель T2A80/2 ( $P_{nom} = 1,1$  кВт,  $N_{nom} = 2850$  об/мин,  $I_{nom} = 7,4$  А,  $M_{nom} = 30$  Н·м), нагрузочный агрегат, выполненный на основе электропривода с двигателем 30М генератор постоянного тока (ГПТ) с независимым возбуждением со встроенными измерителем момента и импульсным датчиком скорости. Стенд разработан на основе аппаратной платформы NI PXI компании National Instruments, с программным обеспечением, разработанным с использованием технологии виртуальных приборов в графической среде программирования NI LabVIEW.

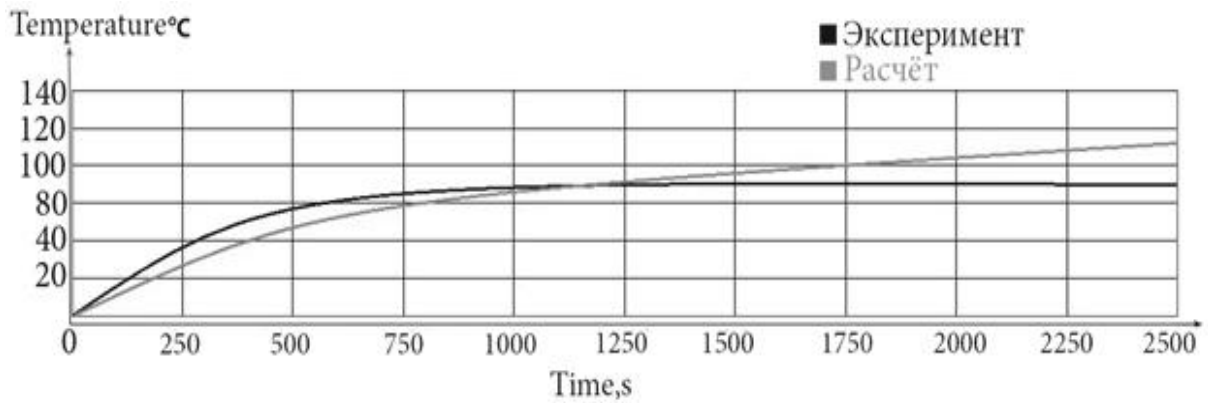


Рис. 3. Расчетная и экспериментальная переходная характеристика превышения температуры меди обмотки статора

Исследование системы при номинальной скорости вращения и 50% номинальной нагрузке наблюдалось превышение температуры статора на 10°C (постоянная времени процесса 400 с). При скорости вращения ротора: 0,3Nном и 50% номинальной нагрузке значение превышения температуры статора 40 °С (постоянная времени процесса 280 с), статорной катушки на 85 °С (постоянная времени процесса 200 с). Результаты расчета по упрощенной модели теплового динамического процесса значительно отличались от эксперимента (рисунок 3), что подтверждает необходимость контроля температуры обмоток двигателя в реальном времени.

#### Список литературы / References

1. *Виноградов А.Б.* Векторное управление электроприводами переменного тока. ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». Иваново, 2008. 298 с.
2. *Борисенко А.И., Костиков А.И., Яковлев А.И.* Охлаждение промышленных электрических машин. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
3. *Беспалов В.Я., Мощинский Ю.А., Цуканов В.И.* Упрощенная математическая модель нестационарного нагрева и охлаждения обмотки статора асинхронного двигателя. // *Электричество*, 2003. № 4. С. 20–26.